

# 마이크로 컨트롤러를 이용한 TX Leakage Canceller

## A TX Leakage Canceller using Micro Controller

박경태\*, 정진우, 노형환, 박준석, 김형석  
(Kyong-Tae Park\*, Jin-Woo Jung, Hyoung-Hwan Roh and Jun-Seok Park)

**Abstract:** A transmitter (TX) leakage cancellation scheme using a Micro Controller Unit (MCU) is introduced. This paper highlights an adaptive anti-leakage signal generation via an MCU, which plays the key role in reducing the TX leakage signal level. High transmitter-to-receiver (TX-to-RX) isolation is verified with measurement results.

**Keywords:** RFID System, TX Leakage Canceller, MCU, TX-to-RX Isolation

### I. 서론

최근 전파를 이용한 RFID(Radio Frequency Identification)에 대한 관심이 집중되고 있다. 그리고 RFID의 파급효과가 지대하여 전자태그 관련 세계 시장은 2010년 최대 310조원 규모로 성장이 전망되며, 전세계적으로 RFID를 활용한 관련 산업들의 지속적인 성장세가 예상된다.[1]

하지만 시장에서 확고한 경쟁력을 갖추기 위해서는 태그 가격의 하락과 인식을 상승, 기존 시스템과의 연계를 강화해야 하며, 리더의 TX Leakage 문제를 해결해야 한다. TX Leakage 문제는 리더의 수신 감도를 떨어뜨리는 원인이 됨으로 이 문제의 해결은 RFID 시스템 내부적으로 태그의 인식을 개선하는 방안이 될 수 있다.

단일 안테나를 사용하는 Full Duplex 방식의 RFID 리더 시스템에서 TX Leakage 문제 해결을 위한 송신부와 수신부의 격리는 중요한 이슈이며 많은 연구가 진행 중이다. 송신부의 종단에는 송신거리의 확보를 위해 전력증폭기를 사용한다. 일반적으로 RFID 리더에서 전력증폭기를 거친 송신신호의 전력 레벨은 약 30dBm이다. 반면 (수동형 태그인 경우) 수신부로 들어오는 수신신호는 리더에서 태그로 송신한 CW신호가 태그와 반응후 역산란되어 들어오는 신호로 에어 인터페이스상의 전송손실을 고려할 때 수신신호의 전력 레벨은 매우 미약하다.(-65dBm@8M) 송신신호와 수신신호의 전력 레벨의 차이를 고려할 때 송신부의 신호가 수신부로 누설되어 수신신호의 감도를 떨어뜨리며, 또한 수신단의 회로를 포화시키는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 현상을 방지하기 위해 송·수신부의 동작을 격리시키기 위한 목적으로 서클레이터와 방향성 결합기를 사용하고 있다.

본 논문에서는 TX leakage를 제거하기 위해 기존의 역위상의 방향성 결합기 구조를 설명하고, 제안된 마이크로 컨트롤러 유닛(MCU)을 이용한 구조에 대해 소개하고 실제 환경에서 측정을 통해 송·수신단간의 격리도를 검증하겠다.

### II. 관련 연구

송·수신단 간의 격리도를 높이기 위한 방법으로 Reflected Power Canceller(RPC)를 기본으로 하여 많은 연구가 진행 중이다.[2],[3] 그림 1(a)는 RPC의 구조이다. 기존의 RPC 구조는 수동회로구조로 정확한 Anti-Leakage 신호의 크기와 위상을 생성할 수 없으며, 안테나의 부정합에 대한 요소를 무시하고 있다.

최근의 연구에서는 Digital Signal Processor(DSP)에 기반한 RPC 구조의 연구가 활발하다.[4] 연구는 TX Leakage 제거를 위해 보다 정확도 높은 Anti-Leakage 신호의 생성을 목표로 한다.

본 논문에서는 MCU를 이용하여 정확도 높은 Anti-Leakage 신호를 생성하여 TX Leakage Canceller 구현을 제안한다. TX Leakage Canceller를 적용하기 위해 그림 2의 UHF RFID 리더에 구현하여 실제 통신환경에서 측정을 통해 검증하겠다.

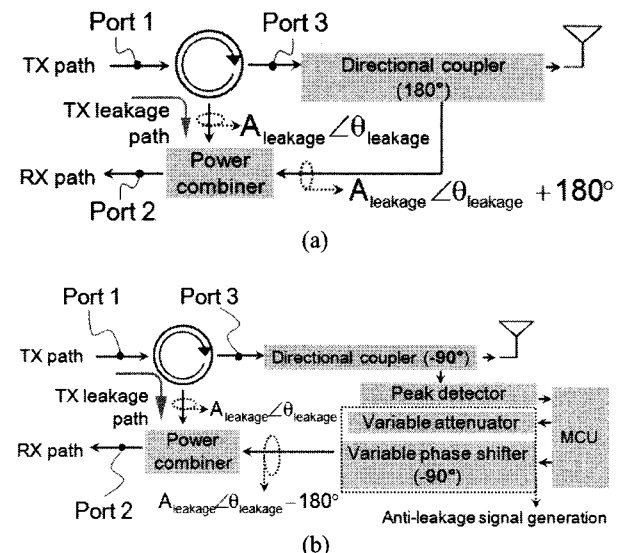


그림 1. TX Leakage Canceller 구조 (a)역위상 방향성결합기를 사용한 기존 구조 (b)MCU를 사용한 제안된 구조

Fig. 1. Appliance combination and process routine of (a) conventional TX leakage canceller (b) proposed TX leakage canceller

\* 박준석 (전자공학부, 국민대학교)  
논문접수 : 20xx. x. x., 채택확정 : 200x. x. xx.  
박경태, 정진우, 노형환: 국민대학교 UCRC Lab.  
김형석 : 중앙대학교  
(ktpark@kookmin.ac.kr, firebirdjin@gmail.com, hroh@gmail.com, jspark@kookmin.ac.kr)  
※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2008-C1090-0801-0003)

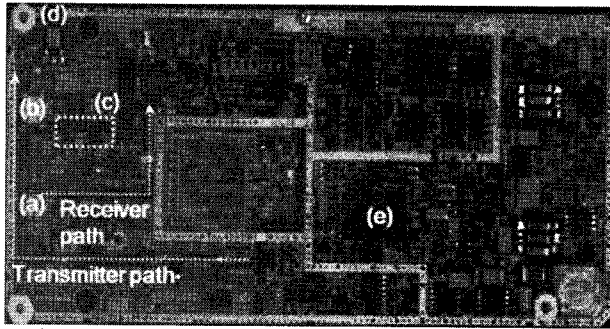


그림 2. 실제환경에서 TX Leakage Cancellation 동작 확인을 위한 RFID 리더 보드 (a)써클레이터 (b)방향성 결합기 (c)가변 소자(가변 감쇄기, 가변 위상 천이기) (d)안테나 포트 (e)MCU

Fig. 2. Practically applied appliances on reader board for proving the performance of the proposed TX leakage cancellation scheme; appliances are: (a) circulator (b) directional coupler (c) variable components (d) antenna port (e) MCU

그림 1(b)는 제안한 MCU를 이용한 TX Leakage Canceller 구조이다. 기존의 회로에서  $-90^\circ$  방향성 결합기로 대체되었고 MCU, 피크 검파기, 가변 감쇄기, 가변 위상 천이기가 추가되었다. 사용자는 User Interface(UI)를 통해 호스트 PC에서 TX Leakage 동작을 모니터링할 수 있다. 사용자의 선택에 따라 가장 적합한 동작 주파수 및 리더의 인식을 등의 파라미터를 설정할 수 있고, 기본적인 설정에 의해 MCU를 이용한 TX Leakage Canceller는 동작한다. 적합한 레벨의 Anti-Leakage 신호가 생성되기 위해서는 가변 감쇄기와 가변 위상 천이기의 레벨 결정이 중요하고, 이들의 레벨은 MCU의 제어에 의해서 결정된다. MCU는 사용자가 선택한 정보에 따라 동작에 적합한 전압 레벨을 가변 감쇄기와 가변 위상 천이기로 인가한다. 피크 검파기를 통해 TX Leakage 신호의 크기와 위상 정보를 알아내고, MCU 제어를 통해 가변 감쇄기는 TX Leakage 신호의 크기를 가변 위상 천이기는  $-90^\circ$  위상을 천이시켜 방향성 결합기의  $-90^\circ$  위상과 더해 역위상( $-180^\circ$ )을 전력 결합기로 보낸다. 이 신호는 TX Leakage 신호와 비교해서 크기는 같고 위상은 반대이며, 이 신호를 Anti-Leakage 신호라고 한다. Anti-Leakage 신호는 수신신호가 인가될 때 수신단의 첫단에 위치한 저잡음 증폭기로 인가되기 이전에 TX-Leakage 성분이 보이지 않도록 제거해야 한다.

### III. TX Leakage Canceller 구조

#### A. 방향성 결합기

제안된 TX Leakage Canceller가 안정된 동작을 하기 위해서 Anti-Leakage 신호의 생성이 시작이 되는 방향성 결합기의 특성이 중요하다. 본 논문에서는 10dB 커플링 특성을 갖고 있는 상용 칩 타입 방향성 결합기를 사용하였다.[5] 그림 3은 908~914MHz 주파수 대역에서 방향성 결합기의 특성이다.

#### B. peak Detector

방향성 결합기에서 샘플링(표본화)된 TX 신호의 피크값을 샘플링해서 기준값과 비교된 신호의 정보를 DC 전압 형태로

MCU에 전송한다.

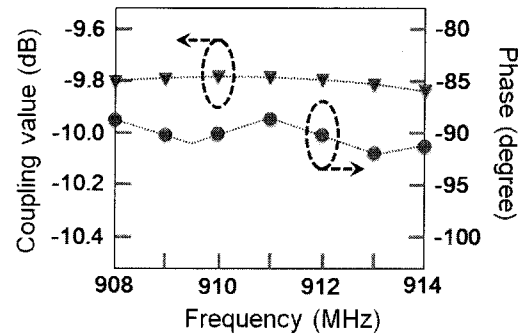


그림 3. 적용한 방향성 결합기의 특성

Fig. 3. Plotted coupling value (averaged 10dB) and measured output phase value of applied directional coupler

#### C. 가변 감쇄기

방향성 결합기를 통해 나온 TX 신호가 TX Leakage 신호보다 레벨이 높을 때 TX 신호를 감쇄 시키는 동작이 필요하다. 본 논문에서 사용한 가변 감쇄기는 약 3~6dB 정도의 감쇄 특성을 가진다.[6] 감쇄 정도는 피크 검파기로부터 DC 전압을 인가 받은 MCU의 동작을 통해 가변 감쇄기를 제어한다. 그림 4는 피크 검파기로부터 MCU를 거쳐 가변 감쇄기의 동작까지를 구조도로 나타내었다. 피크 검파기로부터 AC-DC 변환된 신호를 인가 받은 MCU는 각 주파수에 관해 저장된 데이터를 이용하여 가변 감쇄기를 제어하기 위한 DC 전압을 출력하기 위해 DC-DC 변환을 한다. 이러한 구조는 MCU가 가변 감쇄기를 제어하는데 자동화된 튜닝 동작을 가능하게 함으로 신호의 민감한 변화에 대해서도 안정성을 보장한다.

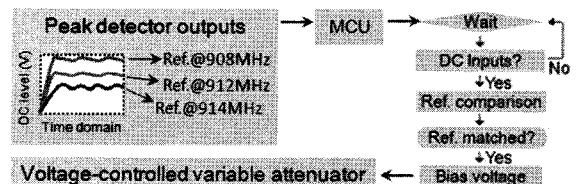


그림 4. 피크 검파기와 MCU의 동작

Fig. 4. Process of sampled TX signals and the Micro Controller work procedure

#### D. 가변 위상 천이기

위상 성분은 예상하기 어려운 많은 왜곡 요소를 가지기 때문에 정확한 위상값을 가지기 어렵다. 제안한 구조가 이상적인 조건에서 동작할 때 방향성 결합기의 커플링된 출력의  $-90^\circ$  위상 천이와 가변 위상 천이기의  $-90^\circ$  위상 천이가 더해져 TX 신호의 역위상으로 천이된다. 실험에 사용된 위상 천이기[7]는 MCU로부터 인가된 전압에 의해 제어된다. [7]의 전압 제어 가변 위상 천이기는 그림 6과 같은 등가 회로로 구현되어있다. 0~12V 구간의 컨트롤 전압에 의한 튜닝이 가능하고, 700~1200MHz 주파수 밴드 내에서  $-80^\circ$ ~ $-110^\circ$ 범위의 가변 위상을 생성해 낼 수 있다. 제안한 TX Leakage Canceller의 용도에 따라 관심이 있는 주파수 영역은 908~914MHz 밴드이고, 이 주파수 영역을 제어하기 위한 컨트롤 전압은

7.45~8.88V이며 0.05V 단위로 제어가 가능하다. 그림 6은 가변 위상 천이기의 특성을 나타낸 그래프로 7.45~8.88V 사이의 컨트롤 전압에 따라 목표 주파수(908~914MHz)에서 -90° 위상 천이를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 실험에서 사용한 전압 가변 위상 천이기는 방향성 결합기로부터 천이된 -90° 위상을 유지하지 못하고 오차를 발생시키더라도 컨트롤 전압 조절을 통해 Anti-Leakage 신호의 위상을 TX 신호의 역위상으로 천이가 가능하다. 제안한 가변 위상 천이기의 구조는 실제 에어 인터페이스 상황에 맞게 각각의 중심 주파수를 Anti-Leakage 신호의 위상을 안정된 방법으로 천이시킨다.

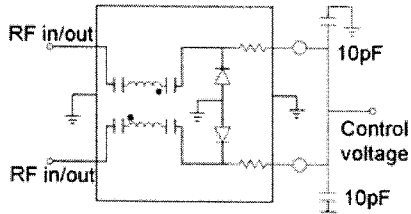


그림 5. 적용한 전압 제어 가변 위상 천이기 등가회로  
 Fig. 5. Equivalent circuit of a voltage-controlled variable phase shifter

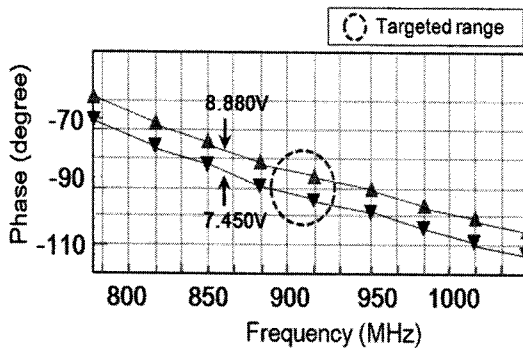


그림 6. 적용한 가변 위상 천이기의 특성  
 Fig. 6. Variable phase characteristic versus the frequency

일반적으로 우리나라에서 UHF RFID 시스템은 912MHz 중심 주파수로 동작한다. 그림 3에서 방향성 결합기는 912MHz에서 -90°의 위상 특성을 가지며 제안한 구조에서 가변 위상 천이기가 -90°의 위상 천이를 발생시키면 정확한 Anti-Leakage 신호의 위상 성분을 생성해 내게 된다. 하지만 실제 환경에서 가변 위상 천이기를 동작 시키기 이전에 -5~10° 정도의 왜곡에 의한 위상 천이가 발생된다. 제안한 구조에서 이러한 위상의 왜곡은 피크 검파기에서 MCU로 TX Leakage 성분이 입력될 때 이미 위상 왜곡이 포함되어 있으며, 왜곡 성분은 MUC의 제어에 따라 보상된다. 사용자 역시 이러한 TX Leakage 상황을 UI를 통해 모니터링하게 되고 필요한 경우 설정에 대한 변경 또한 가능하다.

제안한 TX Leakage Canceller는 그림 1(b)의 구조와 같이 가변 감쇄기와 가변 위상 천이기의 지속적인 피드백 동작으로 정확한 Anti-Leakage 신호로 접근해 간다.

IV. 측정 및 결과

가변 소자의 실제적인 튜닝 과정은 그림 7의 구조로 이루어진다. UI는 가변 소자에 인가되는 전압을 모니터링하고 필요한 경우 MCU의 설정을 바꾼다. 피드백 과정을 통해서 최종적으로 수신부와 송신부 사이의 가장 높은 격리도를 가지는 상황을 지속시킨다. 그림 8은 중심 주파수 변화에 따라 실제 환경에서의 수신부와 송신부의 격리도 특성(S21)에 대해 시뮬레이션과 측정 결과를 보여준다. 측정 결과를 표 1에 정리하였고, 각 중심 주파수에 대해 |42dB| 이상의 격리도를 보장할 수 있다. 시뮬레이션 결과에서는 각 중심 주파수에 대해 약 55dB 이상의 격리도를 확인할 수 있었다. 그림 9는 기존 RPC 구조(그림 1(a))와 제안한 구조(그림 1(b))의 TX Leakage 레벨을 측정을 통해 비교한 그림이다. 1V<sub>pp</sub> 입력이 인가된 경우 각각 0.0997V<sub>pp</sub>, 0.001V<sub>pp</sub>의 TX Leakage 전압이 측정되었다.

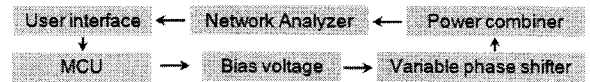


그림 7. 가변 위상 천이기의 튜닝 절차  
 Fig. 7. Measurement scenario for tuning phase values at each frequency

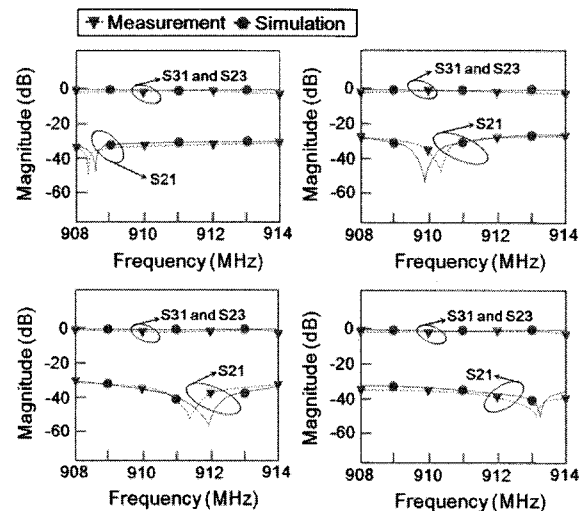


그림 8. 수신부와 송신부 간 격리도 특성의 시뮬레이션 결과와 측정 결과 비교  
 Fig. 8. Simulated and measured performance of the TX-to-RX isolation

표 1. 주파수별 격리도 측정 결과

Table 1. Measured performance of the TX-to-RX isolation

Frequency(MHz)	911.57	912.75	911.5	909.5
Isolation(dB)	-55	-42	-47.78	-49.95

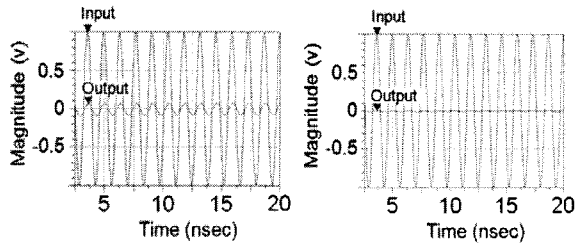


그림 9. TX 신호에 따른 TX Leakage 신호 레벨 (a)그림 1의 기존 구조 (b)그림 2의 제안된 구조

Fig. 9. Measured TX signal respecting the isolation performance: The peak amplitudes of the TX leakage level is (a) a conventional leakage canceller as can be seen in Fig. 1(a), and (b) the proposed leakage canceller.

### V. 결론

TX Leakage Cancellation을 위해 MCU를 이용하여 Anti-Leakage 신호를 생성해 내는 방법에 대해 제안하였다. 측정을 통한 검증으로 수신부와 송신부 간 40dB 이상의 격리도를 만족하게 되면 안정된 수신에 가능한 정도의 TX Leakage 제거가 가능함을 확인하였다. 제안한 구조는 수신부의 잡음 지수를 낮추는데 장점을 제공하며, TX Leakage로 인한 수신부의 포화현상에 대한 보호가 가능하다. 그리고 안테나에서 발생하는 부정합에 대한 영향 역시 반영되어 설계시 정합에 관한 고려의 어려움을 줄였다. 결과적으로 제안된 TX Leakage Canceller의 사용은 RFID 리더 수신부의 감도를 향상시켜 준다.

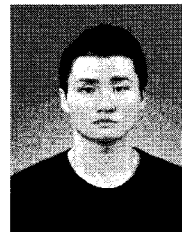
### 참고문헌

- [1] ETRI/IDTechEX/VDC 추정, 2004.11
- [2] P.D.L. Beasley, A.G Stove, B.J. Reits, B. As, "Solving the Problems of a Single Antenna Frequency Modulated CW Radar", in Proc. IEEE Radar Conf., pp. 391-395, 1990.
- [3] Qi Jiming, Qu Xinjian, R. Zhijiu, "Development of a 3 cm Band Reflected Power Canceller", in Proc. IEEE Radar Conf., pp. 1098-1102, 2001.
- [4] S. Kannangara, M. Faulkner, "Adaptive Duplexer for Multiband Transceiver", in Proc. IEEE Radio and Wireless Conf., pp. 381-384, 2003.
- [5] A 10dB directional coupler: XingerII, product ID: XC0900A-10, Anaren Corp., [Online] Available: <http://www.anaren.com/Content/File/Product/XC0900A-10%20Data%20Sheet%20Rev%20D.pdf>.
- [6] A 0.25dB LSB GaAs MMIC 5-bit Digital Positive Control Attenuator, DC - 4.0 GHz, Hittite Corp., [Online] Available: [http://www.hittite.com/product\\_info/product\\_specs/attenuators/hmc5391\\_p3.pdf](http://www.hittite.com/product_info/product_specs/attenuators/hmc5391_p3.pdf).
- [7] A Voltage-Controlled Phase Shifter at 700–1200 MHz, product ID: PS094-315, Skyworks Corp., [Online] Available: [http://www.skyworksinc.com/products\\_display\\_item.asp?did=737](http://www.skyworksinc.com/products_display_item.asp?did=737).



박경태

2007년 2월 국민대학교 공학사 졸업  
2007년 3월~현재 국민대학교 전자공학과 (공학석사과정)  
관심분야는 RFIC



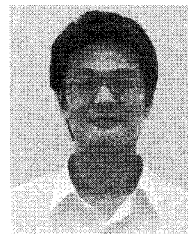
정진우

2007년 국민대학교 전자공학부 졸업.  
2007년~현재 국민대학교 전자공학대학원 석사과정 재학중. 관심분야는 UHF RFID 시스템/소자 설계 및 전파환경 측정, 링크버킷 설계



노형환

2005년 국민대학교 공학사 졸업  
2007년 2월 국민대학교 공학석사 졸업  
2007년 3월~현재 국민대학교 전자공학과 공학박사과정  
관심분야는 RFIC, EMC



박준석

1987년 국민대학교 공학사 졸업  
1993년 국민대학교 공학석사 졸업  
1996년 국민대학교 공학박사 졸업  
이후 University of California at Los Angeles Ph. D 과정 수료  
현 국민대학교 전자공학부 부교수



김형석

1985년 서울대학교 전기공학 공학사.  
1987년 서울대학교 전기공학 공학 석사.  
1990년 서울대학교 전기공학 공학박사  
1990~2002 순천향대학교 정보기술공학부 부교수.  
1997~1998 R.P.I 미국 방문 교수.

2002~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수.  
관심분야 : 전자장 및 수치해석, RF 및 마이크로웨이브 소자 해석 및 설계, RFID 시스템 연구, IT-SoC 응용 회로, 전력 IT